



Ciencia consentida: resignificando los sentidos en la enseñanza de la ciencia¹

- Consented Science: Resignifying the Senses in the Teaching of Science
- Ciência consentida: ressignificando os sentidos no ensino da ciência

Resumen

Inicialmente, este artículo de reflexión debate la noción de racionalidad moderna como abstracción que produjo una amputación vital. Segundo, plantea recuperar el cuerpo para devolverle vida a las aulas usando los sentidos como fuentes de significado en la educación científica. En tercer lugar, argumenta esta tesis ilustrando la naturaleza de cada uno de los sentidos como receptores de ondas mecánicas y electromagnéticas, y como lectores de señales químicas. Para tal fin, explicita cómo los sentidos acústico y táctil pueden captar y diferenciar diferentes tipos de ondas mecánicas, ya sea que sea trate de las generadas por un susurro o por una caricia. Igualmente, se expone cómo el sentido de la vista convierte las ondas electromagnéticas de la luz visible en señales electroquímicas en la retina para informarnos sobre la belleza del mundo, y cómo el sentido del olfato, en combinación con el del gusto, puede diferenciar de forma eficaz sales, iones, metales, y la mayoría de los grupos funcionales que se presentan en los compuestos orgánicos. Así mismo, se presenta una conceptualización sensible de cada uno de estos sentidos clásicos, y algunas de sus articulaciones con la enseñanza de las ciencias. Así, este trabajo muestra que es factible integrar a la sensibilidad y a los sentidos que la posibilitan en la enseñanza de la química y de la física. Además, ofrece alternativas menos librescas y más vitales para la enseñanza de las ciencias, y por tanto con mayor sentido para los estudiantes.

Palabras clave

cuerpo; sentidos; enseñanza viva

José Joaquín García García*

* Licenciado en Biología y Química por la Universidad del Tolima. Magíster en Docencia de la Química por la Universidad Pedagógica Nacional de Colombia. Doctor en Didáctica de las Ciencias por la Universidad de Granada España. Coordinador grupo de investigación Innovaciencia. Medellín, Colombia.
joaquin.garcia@udea.edu.co
ORCID: <https://orcid.org/000-0002-5009-7942>

¹ Este documento es un artículo de reflexión cuyo contenido es el resumen de una conferencia con el mismo del mismo título ofrecida por el autor durante el VII Congreso Internacional de Formación de Profesores de Ciencias realizado en la ciudad de Bogotá en el año 2016 y auspiciado por la revista TED



Abstract

This reflection article initially discusses the notion of modern rationality as an abstraction that produced a vital amputation. In the second place, it proposes recovering the body to bring the classroom back to life using the senses as sources of meaning in scientific education. Third, it argues this thesis illustrating the nature of each of the senses as recipients of mechanical and electromagnetic waves, and as readers of chemical signals. To that end, it makes explicit how the acoustic and tactile senses can capture and differentiate different types of mechanical waves, whether it be those generated by a whisper or a caress. Likewise, it is exposed how the sense of sight converts the electromagnetic waves of visible light into electrochemical signals in the retina to inform us about the beauty of the world, and how the sense of smell, in combination with that of taste, can differentiate in an effective way salts, ions, metals, and most of the functional groups that occur in organic compounds. Likewise, a sensitive conceptualization of each of these classic senses, and some of its articulations with the teaching of science, is presented. Thus, this work shows that it is feasible to integrate the sensibility and the senses that enable it in the teaching of chemistry and physics. In addition, it offers less bookish and more vital alternatives for science education, and therefore more meaningful for students.

Keywords

body; senses; living teaching

Resumo

Inicialmente este artigo de reflexão discute a noção de racionalidade moderna como uma abstração que produziu uma amputação vital. Em segundo lugar, ele propõe recuperar o corpo para trazer a sala de aula de volta à vida usando os sentidos como fontes de significado na educação científica. Terceiro, ele argumenta esta tese ilustrando a natureza de cada um dos sentidos como receptores de ondas mecânicas e eletromagnéticas, e como leitores de sinais químicos. Para esse fim, explica como os sentidos acústico e tátil podem capturar e diferenciar diferentes tipos de ondas mecânicas, sejam elas geradas por um sussurro ou por uma carícia. Da mesma forma, é exposto como o sentido da visão converte as ondas eletromagnéticas da luz visível em sinais eletroquímicos na retina para nos informar sobre a beleza do mundo, e como o sentido do olfato, em combinação com o paladar, pode se diferenciar de uma maneira eficaz sais, íons, metais e a maioria dos grupos funcionais que ocorrem em compostos orgânicos. Da mesma forma, é apresentada uma conceituação sensível de cada um desses sentidos clássicos e algumas de suas articulações com o ensino de ciências. Assim, este trabalho mostra que é possível integrar a sensibilidade e os sentidos que a possibilitam no ensino de química e física. Além disso, oferece alternativas menos livrescas e mais vitais para o ensino de ciências e, portanto, com mais sentido para os alunos.

Palavras chave

corpo; sentidos; ensino vivendo

Los sentidos no mienten, solo hacen del mundo una realidad construida como interacción, y lo entregan para examinarlo.

David Le Breton (2009).

La cultura logocéntrica de la modernidad y la exclusión del cuerpo

En la modernidad el hombre es ante todo un ser racional, y el cuerpo es desplazado por la mente. Así, la ciencia moderna, usando solo el pensamiento y en un afán por lo esencial, aisló al hombre de la vida. Los símbolos matemáticos y la abstracción usurparon la vida y el conocimiento, haciéndolos simples, inocuos y sin sentido (Jaramillo y Aguirre, 2011; Pedraza, 2010), quitándoles sus vínculos y convirtiendo a la vida en inhumana (Barcena y Melich, 2000) y al mundo en vacío (Serres, 2003). Este orden logocéntrico desaparece el cuerpo, creando sujetos que ven, oyen y callan, sin oler, tocar o apreciar, rompiendo las interacciones cognición/afecto/acción (Serres, 2003). El cuerpo solo será algo para alimentar, conservar, mover sistemática, eficaz y eficientemente, con anatomía y fisiología adiestradas e higienizadas para la producción. Esta visión del cuerpo manipula el ritmo, la coordinación, las habilidades motrices y la energía muscular formando para lo intelectual y abstracto, a la vez que sedentariza, alejando: lúdica, emoción, sensibilidad y subjetividad (Pedraza, 2010). Así, los sentidos, incluida la intuición, serán solo sombras, la sensibilidad fisiología y la experiencia experimento, robándole el sentido a la vida y quitándole su estructura simbólica (Barcena y Melich, 2000).

En la modernidad, la adicción al lenguaje (*ad*: "abrazar" o "adherirse", y *dictum*: "texto"), excluye a expresiones como el movimiento, la pintura o la música, y a los sentidos incluido el de propiocepción. Esta anestesia del cuerpo cancela y enajena su deseo, identidad, esperanza, experiencia, curiosidad o sentimiento, y genera un *homo insipiens*, insensible, sin vida, sin mundo, sin experiencia, sensaciones, inti-

midad, actividad, diversidad (solo identidad o repetición) o profundidad antropológica e infinitamente aburrido (Serres, 2003; Benjamin, 1998, citado por Barcena y Melich, 2000).

Igualmente, esta adicción al lenguaje convierte al conocimiento en un monstruo: extraño, mágico y ajeno a la experiencia del mundo (Jaramillo y Aguirre, 2011), y en un dogma: solo para ser oído. También, anular el cuerpo y los sentidos convierte a la música, la literatura o la pintura, en historia o en apreciación y crítica, más que en vivencia subjetiva, emotiva e intuitiva, al tiempo que impone modelos de sumisión y transmisión dogmática, formando seres dóciles y pasivos (Barcena y Melich, 2000), autómatas, extraños de sí, de la existencia y de sus sentidos. Sujetos que no degustan el mundo, y han olvidado que viven y piensan, inmovibles ante la belleza de la vida. Además, genera un mundo feo, sin gracia ni gratuidad, anorético y angustiado (sin gusto) (Serres, 2003).

Como respuesta a esta amputación vital se propone el uso decolonial de los sentidos, despreciando al tiempo y enalteciendo el instante fugitivo y sensorial, y próximo, que hace renacer en presente, en cada instante (Serres, 2003). Además, se plantea reconocer las posibilidades expresivas y estéticas del cuerpo, y a su acción como forma integral de motricidad, un cuerpo que acceda a la belleza y a la sapiencia, y deguste la existencia de forma sabia y en presente (*sapio*: "sentir con rectitud") (Serres, 2003; Breton, 2009). Esto, para construir la experiencia a través de la interpretación sensible del mundo, transformando al sujeto y a su percepción del otro y de sí mismo (Barcena y Melich 2000).

Recuperar el cuerpo y los sentidos formaría adultos felices y sabios, vivos y no muertos, y, con una actitud ética no mezquina ante lo sensorial del mundo y sus dones gratuitos. Así, el conocimiento sería también posibilidad introspectiva, subjetiva e intersubjetiva (Jaramillo y Aguirre, 2011). Igualmente, su construcción estaría mediada por el procesamiento reflexivo de la subjetividad sensible, que pasa por el cuerpo como conciencia perceptiva y usa el

sentir como consciencia compleja para la construcción de *sentido* (Le Breton, 2009; Barcena y Melich, 2000; Merlau-Ponty, 1984). Ello originaría una razón crítica situada en una cultura con una organización y un campo de posibilidades sensoriales que olfatea, saborea, acaricia y concibe la existencia, en participación, comunicación y comunión (Jaramillo y Aguirre, 2011, Breton, 2009). Esto les devolvería la vida a las teorías, construidas desde el mundo y sus cambios (Barcena y Melich, 2000) y a los sujetos un pensar compasivo, con-movible, con amor, cuidado, y sensibilidad ética hacia la diferencia (Barcena, 2001).

¿Cómo funcionan los sentidos?

La percepción convierte la *realidad absoluta* en realidad propicia (Haro, 2007) en dos fases: transducción extracraneal de recepción de estímulos y codificación intracraneal. En esta última la información se interpreta interactuando con experiencias, creencias, valores y memorias que orientan la atención para construir una respuesta emocional inicial que origina un sentimiento. Luego se retroalimentan los sentidos, modificando su capacidad y discriminabilidad. El sentido de la vista capta ondas electromagnéticas; el oído y el tacto, ondas mecánicas de presión, y la piel, ondas térmicas. El olfato y el gusto detectan señales de las sustancias químicas. El tacto es vital para el embrión; el olfato, para el neonato; la audición, para el niño y el adolescente, y la vista, en el adulto. Los estímulos se filtran por preferencia sensitiva, espectro sensible, y capacidad para percibir variaciones. Esta última depende de la filogenia, la ontogenia, la ecología, lo social y lo cronobiológico.

Nuestros cien mil millones de neuronas solo procesan el 1 % de los estímulos. Percibir una sensación depende del lugar estimulado en el cerebro (10 000 neuronas por modalidad sensorial). Cuando esto ocurre, se activan, desactivan o inhiben neuronas (adyacentes) generando contraste y aumentando la sensación (Kandel et ál., 2000; Molnár y Brown, 2010). Es importante tener en cuenta que el sentido del dolor (nocioceptivo), con sensores en piel, periostio, hoz del cerebro, cerebelo, órganos internos y sistemas vascular y muscular, puede ser inhibido, al activar receptores táctiles por bloqueo o saturación de señales, pues sus vías se cruzan. De la misma manera, para aumentar el dolor se centra la atención en él o se manipula el estado emocional. El dolor es un multisentido y la incapacidad para sentirlo inhumanidad. El dolor informa y alerta sobre sensaciones nocivas: presión, calor, frío y pH extremos; sustancias neuropatógenas, soledad, depresión, etc., usando terminaciones nerviosas libres con receptores específicos.

Además, cada órgano sensorial puede activar otro de forma directa (la piel puede ver, o la nariz tocar) o indirecta (sinestesia). En ellos hay receptores específicos e inespecíficos, y sensaciones típicas o no. El olfato puede detectar feromonas, en el oído se controla el equilibrio y la cornea tiene un gran sentido del tacto. Además, cada sentido puede activarse por estímulos no específicos: el olfato con una caricia, el tacto por un sonido, el gusto por una imagen, etc. Los sentidos pueden no distinguir el tipo de estímulo que los activa. La punta de un puñal activa el sensor de frío; un viento cálido, el tacto, o la luz matinal el olfato. A continuación, se plantearán posibles articulaciones entre la educación científica y los sentidos.

El sentido de la vista

Ver es supraconsciencia que eterniza al presente para la contemplación mística y el éxtasis (Alvira, 1985) ofreciendo infinitos nacimientos y miradas en profundidad del mundo, para conocerlo (latín: *videré*, *veda*: "sé") (Breton, 2009). Querer ver y ser visto es identidad cultural (cosmovisión) (Jaramillo y Aguirre, 2011). Ver es experiencia emocional, comprometida y activa; es pensar el mundo, sin sustituir realidad por imagen o cultura por simulacro (Serres, 2003). En 13 lenguas el 60 % de las palabras son sobre la vista (Gobern, 2015). La información visual es mejor reconocida, guardada y recordada (Logatt, 2012), así luego de tres días el 90 % es recordada y luego de un año el 73 %. El cerebro interpreta las palabras como imágenes secuenciadas, la vista coordina las otras sensaciones y la mente nunca deja de ver.

Al ver se hace geometría, se identifica gráficamente el entorno, el tamaño, el volumen, la posición, la distancia, la forma de los objetos y las dimensiones. La visión es evolución y ecología, con 90 millones de años y 5000 rutas evolutivas, detecta amenazas, fuentes de alimento o agua y oportunidades reproductivas.

El ojo humano, es física y electromagnetismo, distingue 10 millones de colores, en la franja de 397 a 723 nm, franja en la que el sol envía su máxima radiación. El ojo sigue las leyes de la óptica, con un sistema con dos lentes: la córnea responsable de la refracción estática (con 0,5 mm de espesor, 48,8 dioptrías en su lado convexo y -5,9 dioptrías en su lado cóncavo para un total de 43 dioptrías de poder refractivo, entre el aire y el humor acuoso) y el cristalino (que es una lente biconvexa con 19 dioptrías de poder refractivo) entre el humor acuoso y el vítreo, responsable de la refracción variable (se aplanan o se contraen para ser menos o más convexas), además de dos medios refractarios: los humores vítreo y acuoso (total 58,6 D, la cámara córnea-cristalino tiene un efecto negativo). La diferencia en densidad de los medios atravesados hace que la imagen percibida en la retina sea inver-

tida. Cuando la cobertura en los planos de la córnea es desigual se produce el astigmatismo o asimetría en la capacidad de refracción. Cuando el poder de convergencia en el cristalino es muy alto, la imagen se forma delante de la retina (miopía) y cuando es muy bajo, se forma detrás de ella (hipermetropía). La reflexión también importa, cuando la melanina del epitelio ocular impide la retroreflexión de la luz hacia el interior del ojo absorbiéndola, evitando el deslumbramiento, o cuando en los felinos el *tapetum lucidum* refleja la luz regresándola a los fotorreceptores (Schwab et ál., 2002).

La visión es electricidad, usa la actividad eléctrica variable generada por la cantidad de luz recibida y la señal de salida depende del promedio de señales de los fotorreceptores estimulados. La visión es bioquímica: la señal de salida hace generar neurotransmisores en las células conectadas a ellos, en las horizontales (GABA), en las bipolares (glutamato), y en las amacrinas (dopamina, indolaminas, acetilcolina: inhibidores). Las células ganglionares (rojo-verde o azul-amarillo) son las que llevan la información al cerebro (Ahnelt y Kolb, 1994). De estos neurotransmisores casi no se habla cuando tratamos temas como aminoácidos, péptidos o aminos.

La visión es fotoquímica: los bastones y los conos (7 y 120 millones aprox.), células trisegmentadas fotorreceptoras (discos de fotorrección, cuerpo ciliado y terminal sináptico). Los bastones registran intensidades de hasta un fotón (380 a 600 nm, pico 500 nm verdeazul), definiendo la sensibilidad ocular (visión nocturna), distinguiendo claro de oscuro y forma de movimiento (Braun, 1998). Los conos perciben luz de alta intensidad (450 a 780 nm) para ver los colores, los detalles (agudeza) y la calidad de imagen (nitidez). El pigmento fotosensible en los bastones es la rodopsina, que tiene siete porciones transmembranas de una proteína (opsina), la escotopsina. Esta rodea al 11-cis-retinal (retineno, aldehído de la vitamina A1), que aislado solo absorbe hasta 3700 Å (ultravioleta), pero en la opsina, hasta 5000 Å (verde). En los conos, hay tres

tipos de opsinas a las que se acopla el retinal, pudiendo este absorber luz de 4600 Å, azul (pico 420 nm); de 5400 Å verde (pico 531 nm) o de 6300 Å rojo (pico 558 nm). Los fotorreceptores con melanopsina controlan ritmos circadianos y reflejos pupilares, enviando información al núcleo supraquiasmático y al cuerpo geniculado lateral.

El 11-cis-retinal (curvo) al absorber luz cambia la permeabilidad iónica, provocando el potencial receptor que va hasta la región sináptica, liberando neurotransmisores. Este, en una billonésima de segundo, gira extendiéndose y forma 11-trans-retinal (recto) o todo trans (se isomeriza: hidrógenos en C11 y C12 se colocan en lados opuestos de la cadena), separándose de la opsina (blanqueamiento molecular sin generar potencial receptor). En la oscuridad, una enzima y energía reducen el trans-retinal a cis-retinal, que se recombina con la opsina. Lamentablemente cuando se enseñan los aldehídos y los isómeros, no se hace referencia a este aldehído o a este proceso de isomerización.

En la membrana del núcleo y el segmento interno de las células fotorreceptoras, la bomba Na^+/K^+ lleva al exterior los iones Na^+ , creando un potencial negativo. En oscuridad, la membrana del segmento externo abre los canales iónicos dejándolos pasar, despolarizando la célula y neutralizando la negatividad, ocasionando un potencial receptor de -25 a -30 mV y la liberación de glutamato. En la luz, pasan menos iones Na^+ hacia el interior; sube la negatividad celular (hiperpolarización), y el potencial hasta -90 mV, sin liberar glutamato (Agüera y Ruiz, 1997). En el bastón la membrana plasmática separada de la de los discos fotorreceptores usa un mediador químico para la permeabilidad al Na^+ , el GMP cíclico, que se une a los canales abriéndolos. A la luz la metarrodopsina II activa en la membrana a la proteína G (transducina-Gtl), que transforma GTP en GDP y activa la fosfodiesterasa (PDE) que hidroliza el GMP cíclico a 5'-GMP, cerrando los canales de Na^+ e hiperpolarizando la membrana (Hargrave y McDowell, 1992). En el proceso una molécula de rodopsina actúa sobre 500 de transducina y estas sobre 500 000 de GMP cíclico. En oscuridad el 20 % de la corriente se debe al paso por el canal de iones Ca^{++} y Mg^{++} . La célula usa un intercambiador sodio/calcio en la membrana del segmento externo para eliminar excesos de estos elementos. El Ca^{++} ayuda a la recuperación del bastón luego de la iluminación, regulando la adaptación luz/oscuridad y, al disminuir, activa la guanilciclase generando más GMP cíclico e inhibe la fosfodiesterasa activada por la luz (Yau, 1994). En clase de química, metales alcalinos y alcalinotérreos, iones y potenciales no se relacionan con lo que acaece en nuestros ojos.

La escucha: el sentido del oído

El sonido, canto y vibración de origen de toda cosmogonía crea universos (Serres, 2003). Los sonidos tienen poder y fuerza para convocar a las cosas y materializarlas. Su energía puede llegar hasta el corazón del hombre y los acontecimientos, recrearlos y transformarlos, cambiando relaciones, intenciones y conocimientos (Breton, 2009). En física, hablamos de sonido, vibraciones, ondas (perturbaciones), compresión, rarefacción, velocidad, medios de propagación, frecuencias, tonos fundamentales y sobrepuestos (timbre), o armónicos de combinación. Al mismo tiempo, nuestro oído percibe el sonido, convierte ondas sonoras en energía mecánica, y luego en energía eléctrica (Alvira, 1985), y nos informa con pre-

cisión sobre las vibraciones del mundo (hasta 40 000 Hz en niños, 20 000 Hz en adolescentes y entre 10 000 a 15 000 Hz en adultos), manteniéndonos alerta, aun dormidos.

Así, los cilios neurosensoriales auditivos entran en resonancia solo con sonidos de determinadas intensidades, sumándose a sus frecuencias naturales, pudiendo así separar las ondas de cada uno, distinguir su altura (tono): grave, aguda o media; su timbre (incluidas las armónicas): áspero, dulce, ronco o aterciopelado; su sonoridad: clara, sorda, agradable o molesta; su intensidad (volumen) y su duración. Por esto, la escucha voluntaria, atenta, afectiva e intelectual mejora la voz y facilita oír e interpretar la música, su duración, tiempo, lenguaje, ritmo y melodía (Tomatis, 1990; Willems, 1976).

Igualmente, en física se estudian las frecuencias sin mencionar que el cuerpo resuena con ellas, afectando su equilibrio si son bajas, sintiéndolas si son insonoras, comunicándose si son medias o, energizándose cognitiva y emocionalmente si son altas (Trallero, 2008). Estas últimas aumentan el potencial eléctrico del córtex, distribuyéndolo por el cuerpo tonificándolo y vitalizándolo, aumentando la motivación, la atención, la concentración y la memoria (Despins, 1994; Tomatis, 1990; Fleming y Rutherford, 2015). Así mismo, cada parte del cuerpo vibra (en ciclos por segundo); las piernas, entre 65,20 y 130,5; el abdomen, entre 130,5 y 261; el tórax, entre 261 y 522, y la cabeza, desde 522 a 1044 (Aucher, 1983).

Tampoco, al enseñar el concepto de *presión* se le relaciona con la presión sonora dependiente de la frecuencia del sonido, que puede llegar a atrofiar el oído si sobrepasa los 90 dB como en conciertos, discotecas o fábricas (Gil-Loyzaga, Camilleri y Ducourneau, 2015). No se dice que el oído es un transformador de presiones, en el que las ondas que llegan a cada oreja con una diferencia temporal son dispersadas por el pabellón, antes de ir al conducto auditivo externo, y luego ampliadas 23 veces cuando la membrana timpánica transmite su vibración a la cavidad

timpánica (con aire) y al sistema de huesecillos del oído medio, hasta la ventana oval (la relación de áreas entre las dos membranas es 30 a 1, 90 mm² y 3 mm², respectivamente). La presión sobre la ventana oval se equilibra por la ejercida sobre la membrana llamada *ventana redonda*, que transmite la compresión de regreso al oído medio. Así, el aire del tímpano se comprime y sale por la trompa de Eustaquio (entre el oído medio y la garganta superior) equilibrando las presiones a ambos lados de este. A este, además se le transmite una rarefacción al despegarse el estribo hacia adentro de él, jalando la ventana oval. También se olvida que la presión sobre la ventana oval ya amplificada se transmite a la viscosa perilinfa en la cóclea del oído interno que hace vibrar en el conductillo coclear a la membrana basilar, presión que se transforma en una fuerza de corte presionando a la membrana tectorial, membranas entre las que se encuentran los cilios neurosensoriales, que tensionados captan las ondas sonoras.

Así mismo, los conceptos de *equilibrio estático* y *dinámico*, de *fuerza*, *composición de fuerzas*, o *fuerza resultante* casi nunca se relacionan con lo que sucede en nuestro oído interno y más propiamente en el laberinto vestibular que con los estatocónios, utrículo y sáculo, aseguran el equilibrio estático del cuerpo a través de la percepción por parte de las células ciliadas ubicadas en un saco membranoso de sus terminaciones (máculas), al ser presionados por los otolitos que se mueven en el sentido del movimiento de la cabeza. Estos conceptos tampoco se relacionan con lo que sucede en los conductos semicirculares dentro de los canales semicirculares en el mismo laberinto vestibular; en los cuales se registran los movimientos rotatorios del cuerpo cuando el líquido dentro de ellos va hacia atrás presionando el extremo contrario donde está una ampolla terminal que aloja a la cúpula en la cual se encuentra la crista que al desplazarse presiona a los cilios y origina la señal nerviosa, que aunque solo detecta las aceleraciones de las rotaciones, nos informa acerca del equilibrio dinámico. Como los canales semicirculares son perpendiculares entre sí, dependiendo

del plano del giro, cada conducto detectará y registrará el giro o parte de este si es arbitrario, componiéndose luego los tres componentes del movimiento. Así, si la enseñanza tradicional de la física olvida la comprensión del equilibrio corporal nos hace inconscientes, temporal, espacial y rítmicamente (Trallero, 2008).

Finalmente, en clase de química, potenciales, iones o elementos como el sodio o el potasio, no se relacionan con lo que sucede en el mismo instante en el que oímos. Es decir, con los cilios sensibles (15 000 a 24 000) en el órgano de Corti (túnel con 4000 arcos) en el piso de la rampa media del conductillo coclear (en el laberinto coclear de oído interno comunicado con el sáculo) y sujetos a las membranas basilar y tectorial, que al moverse generan potenciales eléctricos liberando neurotransmisores al cambiar la permeabilidad al K^+ , y abrir los poros en sus puntas por acción de la proteína $TRPA1$, dejando pasar Na^+ y Ca^{++} (Guimaraes y Jordt, 2007). Esto sucede porque en el conductillo coclear hay un sistema de tubos o rampas: vestibular, media y timpánica, separadas las dos primeras por la membrana vestibular, y la timpánica y media por la membrana basilar, y porque las rampas vestibular y timpánica tienen perilinfa, Na^+ y pocas proteínas, y la media endolinfa, K^+ y proteínas.

El sentir del tacto

El tacto es infraconsciencia de inmediatez, historia del cuerpo y memoria de experiencia, carencias y alegrías, es individualidad y sentir de existencia (Breton, 2009; Alvira, 1985). Alimenta la felicidad con el amor, enseñándonos texturas, contornos, calidez o frialdad (Breton, 2009). Toda percepción es contacto con el mundo que lo hace tangible, comprensible y seguro (real). El tacto es inteligencia sensible y la calidad de nuestra relación con el mundo depende de qué tan profundo lo acariciemos para estar vivos (Serres, 2003; Breton, 2009). Hoy el mundo y el hombre son distancia e intangibilidad, sin caricias, volúmenes, texturas o temperaturas.

El sentido tacto permite percibir riesgos, e informa sobre los sentimientos propios y ajenos en la delicadeza de un toque, la calidez de un abrazo o la fuerza de un empujón. Lo que tocamos altera nuestros pensamientos y actitudes: muebles rígidos, papeles gruesos o bebidas frías nos hacen menos sociables, severos, autoritarios y fríos (Castells y Roncero, 2006). Nuestros límites corporales táctiles (autopercpción) nos dan confianza en la existencia, seguridad, confort y bienestar. Además, condicionan la percepción de los otros, las facultades sociales, los límites y las libertades propias y ajenas. Los sistemas táctiles: protector y discriminativo, son excluyentes. Cuando tocamos o nos tocan, desactivamos el sistema defensivo-protector, somos amables, sensibles al entorno y nos comunicamos de forma más íntima e intensa con el mundo. Además, mejoramos nuestro sistema inmunitario y elevamos el nivel de endorfinas en casos de artritis, anorexia o estrés, o nacimiento prematuro (Montagu, 2004). En cambio, la carencia táctil temprana, la anoxia en el parto, el nacimiento por cesárea, o ambientes, autoritarios y violentos pueden disminuir la sensibilidad táctil, o hacerla defensiva y provocar problemas cognitivos, emocionales y de carácter. La somestesia es la percepción sensorial a través de la piel: el tacto (con 5 000 000 de mecanorreceptores), la temperatura (termorreceptores) y el dolor (nociceptores).

De nuevo, en clase de física, al enseñar la magnitud de una fuerza y la forma en que esta es distribuida, no se le relaciona con la capacidad del tacto de registrar estos dos aspectos en el cuerpo, cuando es sometido a presión en planos superficiales y profundos, o a señales repetidas y rápidas (vibración). Igualmente, en clase de química, cuando se habla de los fosfolípidos de la bicapa lipídica en las células, o de los alcoholes, los ácidos grasos y los fosfatos que los forman, no se hace alusión a la capa aislante de esfingolípidos (con esfingosina) que cubre las vías nerviosas formando la mielina, y que hace que la sensibilidad táctil sea epicrítica y no protopática, es decir, rápida y no lenta (5-30 m/s o 30-70 m/s), exacta y no difusa, localizada, identificatoria más que indiferenciadora, o discriminatoria más que gruesa. La sensibilidad protopática debida al dolor, calor o frío extremos, al tacto grosero, picor, cosquilleo, y sensaciones sexuales. La sensibilidad epicrítica inhibe la protopática y es sutil, tridimensional, orientada espacialmente, rápida, fiel y permite determinar presión y posición articular.

Los mecanorreceptores se diferencian por el tamaño de su campo receptivo, la persistencia de su respuesta y el espectro de frecuencias a que responden. Estos pueden ser encapsulados o no, y con fibras nerviosas únicas o ramificadas, mielinizadas o desmielinizadas. El campo receptivo es el área en la que un estímulo puede generar excitación. Su tamaño determina el grado de precisión, al ser más pequeños y estar más agrupados su resolución será mayor como en dedos y labios (separados apenas 1 o 2 mm), lo que no sucede en la espalda (separados de 30 a 70 mm). Estos pueden solaparse y presentar grados de sensibilidad (Kandel et ál., 2000). Dos estímulos simultáneos en el mismo campo receptivo se sentirán como uno. En la corteza cerebral somatosensorial táctil solo se activa la parte que procesa el campo sensorial estimulado. Esta tiene grandes regiones para procesar estímulos dactilares, labiales, linguales, faciales y manuales (campos receptivos pequeños), y regiones más pequeñas para procesar

estímulos venidos de la espalda, el pecho o los muslos.

Estos fenómenos táctiles, no son relacionados con el concepto de frecuencia, pocas veces hablamos de la frecuencia de una caricia (5-15 Hz) que provocan respuestas táctiles hasta por media hora (con una señal inicial fuerte de adaptación rápida, y luego una débil de adaptación lenta), sentidas por las terminaciones de Merkel en manos, pies, dedos, labios y senos; o la de un suave y fino roce (2 a 80 Hz) como el de nuestra ropa, que se dejan de sentir rápidamente (de adaptación y decaimiento rápido: fásicos), percibidas por los corpúsculos de Meissner en estos mismos sitios además de en las yemas dactilares, los órganos sexuales y la lengua.

Tampoco nos referimos a las frecuencias altas (30 a 800 Hz) percibidas por los corpúsculos de Pacini rápidamente, al inicio y al final del estímulo, cuando se nos aprieta o se mueven nuestras articulaciones u órganos internos, que además se encuentran en la piel superficial, tejidos profundos, glándulas genitales y mamarias, cara, tronco, extremidades, páncreas y mesenterio. Así mismo, cuando estudiamos el calor y la temperatura, no los relacionamos con los corpúsculos de Ruffini termorreceptores cutáneos de adaptación lenta para percibir el calor (además de las deformaciones persistentes) abundantes en manos y lengua, o los de Krause, sensibles al frío presentes en la hipodermis, tejido submucoso, boca, lengua, nariz, ojos y genitales (Schiffman, 2001; Ackerman, 1992). Además, en cada corpúsculo mecanorreceptor, al tocar algo, se deforma su membrana plasmática abriéndose sus canales de sodio e incrementando su conductancia, para generar la señal nerviosa, fenómeno que no citamos al enseñar la química del sodio.

Oler el mundo, el sentido del olfato

El olfato es la huella antropológica interior e inconsciente que orienta al hombre, le dispone y le muestra el tono moral del mundo. La

intimidad de cada hombre incluye el mundo de los olores de su existencia y la afinidad con ellos (Breton, 2009). El olfato despierta, crea tensión para actuar, discriminar, distanciar o acercar (Alvira, 1985). Por otra parte, la información odorífera va primero al sistema límbico y al hipotálamo, responsables de emociones, instintos, impulsos, memoria y liberación hormonal, lo que hace que se recuerden mejor los olores que sus nombres y que estos puedan modificar el comportamiento, al tener un carácter (descripción), un tono hedónico (apreciación) y provocar emociones. El poco uso del olfato hace hombres pocos sagaces sin identidad ni voluntad para olfatear el futuro, perdidos en la masa y dóciles ante los medios y el poder (Serres, 2003). Así, un hombre desodorizado y civilizado está enfermo, sin el olor propio y el del mundo; sin armonía, orden, belleza, paz, ni equilibrio, sin lugar en el cosmos (Breton, 2009).

Es importante señalar que, al enseñar procesos de evaporación, sublimación o difusión, no se relaciona con lo que ocurre con el olfato, que percibe señales químicas de las partículas aromáticas (volátiles, lipófilas y pequeñas) en concentraciones de hasta una parte por mil millones (entre 400 y 10 000 aromas), porque estas se desprenden de la sustancia por evaporación o sublimación, y luego van a la nariz por difusión.

Tampoco es usual en clase de bioquímica, al enseñar el sistema enzimático llave y cerradura, referirse a cómo las sustancias después alcanzar el epitelio olfativo usan este mecanismo para unirse a receptores olfativos de los cilios sensoriales (Colorado y Rivera, 2016). Para Hidrobo (2012), dichos receptores pueden identificar olores como alcanfor, almizclado (muscona: R-3), floral (jazmín, rosa, lila, violeta, sándalo, nardo, geranio, lirio), mentolado, etéreo (afrutado), agrio o agudo y pútrido (fétido). Börsch-Haubold (2007) incluye además receptores para olores como picante (pimienta), resinoso (humo de resina), quemado o humo (alquitrán), rancio (ácidos isovalérico y butírico) y pungente o acre (ácidos fórmico y acético). Según Buck (2004), existen muchas más receptores y estos para facilitar percibir variados olores se activan al interactuar con los aromas solos o en grupo, así el pentanol estimula receptores tipo S3; el hexanol, los S3 y S25; el heptanol, los S3, S19 y S25; el octanol, los S18, S19, S41 y S51, y el nonanol, los S18, S19, S41, S51 y S83.

Por otra parte, ¿no sabemos por qué en química solo se enseñan las medidas de concentración referidas a las disoluciones y se deja de lado la medida de la concentración de los olores? Los olores son medidos en unidades por metro cúbico de aire (u.o./m³), y el umbral de percepción de un gas es la concentración a la cual el 50 % de un jurado al olerlo lo percibe (equivale a 1 u.o./m³). Además, las diluciones necesarias de la mezcla olorosa para obtener 1 u.o./m³ indican su concentración (Page, 2014).

La química enseñada solo con algoritmos, concentraciones y estructuras ha desaparecido al olfato y a la conciencia de la riqueza olfativa, y de sus posibilidades festivas, evolutivas y adaptativas (Serres, 2003). Por ejemplo, en la enseñanza de la química orgánica muy pocas veces se explica que las formas moleculares y los grupos funcionales estudiados son los que permiten percibir el olor de las sustancias cotidianas (Waring, Mitchell y Fenwick, 1987; White, 1975; Suarez, Springfield y Levitt, 1998; Börsch-Haubold, 2007). Así, los alcoholes son responsables de los olores a yerbabuena y menta (mentol), mejorana

(carvacrol y eugenol), cilantro (linalol), romero (cineol, borneol), hierba, rosa, madera o naranja (cis-3-hexenol), lavanda (geraniol), albahaca (estragol), anís (anetol), perejil (apiol), cedro, enebro y ciprés (cedrol), clavo (eugenol), orégano (carvacrol), tomillo (timol), floral (etil hexanol), té verde y negro (eucalip-tol). Igualmente, los aldehídos huelen a jengi-bre, toronjil o eucalipto (citral, geraniol), a libro viejo y a almendras (benzaldehído), a canela (cinamalaldehído), a cítricos (octanal, citral y sinensal, decanal, 2-metilundecanal), a fresco verde (cis-3-hexenal), a detergentes, jabón y Chanel No. 5 (vainillina 4-hidroxi-3-metoxiben-zaldehído), a tomates frescos (trans-2-hexenal), y a manzanas verdes (2-trans-6-cis-nonadie-nal). Por su parte, las cetonas aroman a ruda (undecanona), a eneldo (carvona), a salvia (tuyona), a coco (nonalactona), a mantequilla (Diacetilo butanodiona), o a almizcle de civeta (feromona) (metilciclopentadecanona).

Tampoco se dice que son los ácidos los que provocan el olor del estoraque y el benjuí del incienso (cinámico-benzoico), la leche de cabra, los calcetines sucios, el queso Camem-bert, los pies sudados o la mantequilla rancia (caproico o hexanoico), a la grasa (butírico), y al picante (fórmico); ni que los esteres dan lugar a los olores a pegamento (acetato de etilo), piña (butirato de etilo), aceite de plá-tano (acetato de isoamilo), manzanas maduras (2-metilbutanoato de etilo), albaricoque o pera (butirato de pentilo).

Tampoco se dice que las aminas huelen a: pescado estropeado (histamina, etilamina, trimetilamina, putrescina, cadaverina), comida asada (2-isobutil-3-metoxipirazina, 2-acetil-te-trahidropiridina, 2-Vinil-3-etil-5-metilpirazina), baños sucios (urea y amoniaco) o flatulencia (escatol, 3 metil-indol); que el azufre huele a mar (dimetilsulfuro), a cuerpo sudado (dimetil-sulfona-dimetilsulfóxido), a ajo (allicina: dialdi-sulfuro), a mofeta rayada (3-metilbutano-1-tiol), a rostizado (furilmetanotiol), a espárragos (ácido asparagúsico), a trufa blanca (bis(me-tiltio) metano) o a escape de gas (ácido sulfhí-drico), o los fenoles a guayacol, a aceite de tomillo y feromonas.

El sentido del gusto

El cuerpo degusta el mundo discriminando y dando valor simbólico y sentido a las vivencias y sus variaciones (Breton, 2009). El gusto per-mite apreciar lo bello, la calidad de la vida, del vivir y del existir sensorial; su sensualidad y su placer, saborear el mundo y a la existen-cia a profundidad (Serres, 2003). La lengua y el paladar, con 10 000 papilas gustativas, perciben los sabores: ácido, dulce, salado, amargo, *umami* y graso (Tagua, 2013).

Este sentido del gusto no se tiene en cuenta al enseñar ciencias cuando al tratar fenóme-nos como la hidrólisis, no se menciona la que sucede en la lengua para que los canales iónicos puedan detectar los iones hidronio, generados por sustancias como los ácidos: tartárico (uvas), cítrico (naranja), málico (man-zana) o láctico (leche), y así registrar este sabor y el sabor amargo, protegiéndonos de sustancias tóxicas.

Al enseñar la ionización no referimos lo que ocurre en la lengua con las sales que dan lugar a iones solubles de Na^+ y K^+ , y otros elementos alcalinos, asegurando el balance de electrolitos. Así mismo, olvidamos del sentido del gusto cuando no planteamos que las sales de metales pesados como mercurio o plomo pueden tener un sabor metálico o dulce, y que por ello pueden ser reconocidas.

De la misma manera, segregamos al sen-tido del gusto, cuando al hablar de alcoholes, azúcares, carbohidratos, aldehídos y cetonas, no decimos que el sabor dulce de muchos de ellos depende de la forma en que están organizados sus átomos, aunque hoy se cree que el dulzor en su mayoría es causado por las sustancias aromáticas de los alimentos, es decir, es cuestión de olfato (Bohannon, 2010).

Tampoco relacionamos el sentido del gusto al enseñar la composición y el comportamiento de los fenoles, responsables del sabor y de la sensación táctil astringente del vino, que al conformar los taninos reaccionan con la saliva precipitando sus proteínas y dejándole sin poder humectante, y con las proteínas de la mucosa bucal disminuyendo su superficie

reactiva y provocando aspereza. Así, el sabor también es táctil y depende de propiedades físicas como tamaño, textura, consistencia o temperatura.

Se olvida el sentido del gusto cuando no usamos para enseñar química la frescura del mentol o la sensación irritante en el chile, el ajo o la mostaza inducida por la capsaicina (8-metil-n-vanillil-6-nonenamida), la alicina o el isotiocianato de alilo. Tampoco reconocemos al sentido del gusto al restringir al glutamato (aditivo: E621-GMS Na, E622 K, E624 NH₄, E623 di Ca, y E625 di Mg) y al ácido glutámico (E620) al reino de los neurotransmisores, sin incluirlos en los causantes del sabor a *umami* (sabroso) junto con las proteínas y aminoácidos (Zhao, Xu, Zhang y Zhang, 2011). Algo similar ocurre cuando no se reconoce al estudiar los ácidos grasos con y sin dobles enlaces, que estos forman distintos tipos de grasas, trans, saturadas, insaturadas, mono- y poliinsaturadas presentes en los aceites, los frutos secos o las margarinas, y que pueden ser detectadas por el receptor CD36 para el sabor graso, recepción que se ha hecho cada vez más difícil al ser las grasas cada vez más comunes y copiosas en las dietas (habitación) (Pepino, Love-Gregory, Klein y Abumrad, 2011).

Así mismo, en la enseñanza de la bioquímica, cuando se habla del transporte de sustancias a través de la membrana celular, no se dice que los receptores para los sabores (*taste-receptor cells*, TRC) son proteínas transmembrana que al acoplarse a una molécula de sabor en el dominio externo se activan las proteínas G (GPCR) (heterotriméricas) acopladas a ellos en su dominio interno, estimulando la producción de mensajeros secundarios. Los receptores T1R (T1R1, T1R2 y T1R3) se combinan así: T1R2+3 para lo dulce, T1R1+3 para lo *umami* y, T1R3 para una alta concentración de azúcar sin percibir lo dulce. Los receptores T2R perciben lo amargo (Chandrashekar, Hoon, Ryba y Zuker, 2006). Por otra parte, tampoco se cuenta que, canales TRP (*transient receptor potential*) sirven para percibir lo agrio, y canales de membrana para iones Na⁺ e H⁺, para lo salado y lo ácido (Malnic, Hirono, Sato y Buck, 1999).

Finalmente es importante decir qué se siente con todos los sentidos. Los mayas tzeltales de Chiapas (México) usan el verbo a'y", que significa al mismo tiempo oír, tocar, saborear y oler (Gobern, 2015). Así, se saborea mejor a una temperatura similar a la del cuerpo, el color verde aumenta la dulzura; este y el amarillo, la acidez; el rojo, lo amargo, y la ausencia de color, lo salado.

En este trabajo se ha discutido acerca de la necesidad de abandonar la enseñanza zombi y muerta, que excluye a la vida de las aulas de clase y que forma sujetos autómatas. Además, se ha propuesto enseñar una ciencia con cuerpo, y sobre todo viva, para que el conocimiento y el aprender se constituyan en experiencia.

Referencias

- Ackerman, D. (1992). *Una historia natural de los sentidos*. Barcelona, España: Anagrama.
- Agüera, S. y Ruiz, S. (1997). *Sistema nervioso de los animales domésticos para estudiantes de veterinaria*. España: Don Folio.

- Ahnelt, P. y Kolb, H. (1994). Horizontal cells and cone photoreceptors in human retina: A Golgi-electron microscopic study of spectral connectivity. *The Journal of Comparative Neurology Research in Systems Neuroscience*, 343(3), 406-427.
- Alvira, R. (1985). La teoría de los sentidos y la integralidad. *Anuario Filosófico*, 18(2), 35-48.
- Aucher, M.L. (1983). *L'homme sonore*. París: Desclée de Brouwer.
- Barcena, F. (2001). *La esfinge muda: repensar la educación desde la actualidad. El aprendizaje del dolor después de Auschwitz*. Guadalupe N.L., México: Anthropos.
- Barcena, F. y Mélich, J.C. (2000). El aprendizaje simbólico del cuerpo. *Revista Complutense de Educación*, 11(2), 59-81.
- Bohannon, J. (2010). Profile: Linda Bartoshuk. A taste for controversy. *Science*, 328(18), 5985.
- Börsch-Haubold, A. (2007). Small molecules make scents. *Science in School*, 6, 69-74.
- Braun, E. (1998). *El saber y los sentidos*. <http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/073/htm/elsaber.htm>.
- Buck, L.B. (2005). Unraveling the sense of smell (Nobel lecture). *Angewandte Chemie International Edition*, 44(38), 6128-6140.
- Castells, P. y Roncero, P. (2006). El aceite y el sentido del tacto. *Mètode Revista de difusió de la investigació de la Universitat de València*, (49). <https://metode.es/revistas-metode/monograficos/el-aceite-y-el-sentido-del-tacto.html>.
- Chandrashekar, J., Hoon, M., Ryba, N., y Zuker, C. (2006). The receptors and cells for mammalian taste. *Nature*, 444(7117), 288-294. DOI: 10.1038/nature05401.
- Colorado, R. y Rivera J.M. (2016). *La química del olor*. Dirección de Comunicación de la Ciencia, Facultad de Ciencias Químicas-Orizaba, Universidad Veracruzana. <http://www.uv.mx/cienciauv/blog/quimicadelolor/>.
- Despins, J.P. (1994). *La música y el cerebro*. Barcelona, España: Ed. Gedisa.
- Fleming, A. y Rutherford, H. (2015). ¿Cómo es que la música provoca éxtasis? La ciencia y el hombre. *Revista de Divulgación Científica y Tecnológica de la Universidad Veracruzana*, 30(3), 44-51.
- Gil-Loyzaga, P., Camilleri, M. y Ducourneau, J. (24 de noviembre 2015). *Viaje al mundo de la audición*. <http://www.cochlea.org/es/ruido>
- Gobern, M. (2015). *Ver es siempre lo más importante*. <http://www.dw.com/es/ver-es-siempre-lo-m%C3%A1s-importante/a-1822475229.01.2015>
- Guimaraes, M. Z. P., Jordt S. E. (2007). TRPA1: A Sensory Channel of Many Talents. En W.B. Liedtke, W.B. y S. Heller (eds.), *TRP Ion Channel Function in Sensory Transduction and Cellular Signaling Cascades*. Boca Raton (FL): CRC Press/Taylor & Francis. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK5237/>
- Hargrave, P.A. y McDowell, J.H. (1992). Rhodopsin and phototransduction: a model system for G protein-linked receptors. *FASEB*, 6(6), 2323-2331.
- Haro de Licer, J. (2007). *Sensorialidad básica*. Centro de Recursos sobre Percepción y Ciencias Sensoriales Sociedad Española de Ciencias Sensoriales Hospital de Badalona. http://www.percepnet.com/percepciones/sensorialidad-psicoacustica_perc810209.htm
- Hidrobo, A. (2012). Snif, snif... Ugh, algo huele mal por aquí. *Hablando de Ciencia*. <http://www.hablandodeciencia.com/articulos/2012/05/30/snif-snif-ugh-algo-huele-mal-por-aqui/>
- Jaramillo, L. y Aguirre, J.C. (2011). El no-lugar de los sentidos: por un pensamiento crítico-situado en educación. *Estudios Pedagógicos*, 37(1), 303-316.

- Kandell, E.R., Schwartz, J.H., Jessell, T.M., Siegelbaum, A. y Hudspeth, A.J. (eds.) (2000). *Principles of Neural Science*. 4a. ed. Nueva York, EE. UU.: McGraw-Hill Education.
- Le Breton, D. (2009). *El sabor del mundo. Una antropología de los sentidos*. Buenos Aires, Argentina: Nueva Visión.
- Logatt Grabner C. 2012. La importancia del sentido de la vista en la educación y el aprendizaje: El mito del aprendizaje visual, auditivo o kinestésico. *Descubriendo el Cerebro y la Mente*, 67, 25-28. <https://www.facebook.com/notes/asociacion%C3%B3n-educar/revista-on-line-gratuita-de-neurociencias-descubriendo-el-cerebro-y-la-mente-n67/372798522762720/>
- Malnic, B., Hirono, J., Sato, T. y Buck L.B. (1999). Combinatorial receptor codes for odors. *Cell*, 96, 713-723.
- Merleau-Ponty, M. (1984). *Fenomenología de la percepción*. Barcelona, España: Planeta.
- Molnár, Z. y Brown, R.E. (2010). Insights into the life and work of Sir Charles Sherrington. *Nature Reviews. Neuroscience*, 11(6), 429-436. DOI: 10.1038/nrn2835.
- Montagu, A. (2004). *El tacto, La importancia de la piel en las relaciones humanas*. Barcelona: Paidós.
- Pedraza, Z. (2010). Saber, cuerpo y escuela: el uso de los sentidos y la educación somática. *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, 4(5), 44-56.
- Pepino, M., Love-Gregory, L., Klein, S. y Abumrad, A. (2011). The fatty acid translocase gene, CD36, and lingual lipase influence oral sensitivity to fat in obese subjects. *Journal of Lipid Research*, 53(3), 561-566. DOI: 10.1194/jlr.M021873.
- Schiffman, H. (2001). *La percepción sensorial*. México: Limusa Wiley.
- Schwab, I.R., Yuen, C.K., Buyukmihci, N.C., Blankenship T.N., Fitzgerald P.G., Eagle, R., Sadun, A. y Ernest, T. (2002). Evolution of the tapetum. *Transactions of the American Ophthalmological Society*, 100, 187-200.
- Serres, M. (2003). *Los cinco sentidos. Ciencia poesía y filosofía del cuerpo*. Bogotá, Colombia: Taurus.
- Suarez, F., Springfield, J. y Levitt, M. (1998). Identification of gases responsible for the odour of human flatus and evaluation of a device purported to reduce this odour. *Gut*, 43(1), 100-104.
- Tagua, V. (27 de junio de 2013). *Umami*. El quinto sabor. *Hablando de Ciencia*. <http://www.hablandodeciencia.com/victor-tagua-firma/>.
- Tomatis, A. (1990). *El oído y el lenguaje*. Barcelona, España: Ed. Hogar del Libro, S.A.
- Trallero, F. (2008). *El oído musical*. <http://diposit.ub.edu/dspace/bits-tream/2445/11525/1/EL%20OIDO%20MUSICAL.pdf>

Waring, R.H., Mitchell S.C. y Fenwick, G.R. (1987). The chemical nature of the urinary odour produced by man after asparagus ingestion. *Xenobiotica*, 17(11), 1363-1371.

White, R.H. (1975). Occurrence of S-methyl thioesters in urines of humans after they have eaten asparagus. *Science*, 189(4205), 810-811.

Willems, E. (1976). *L'oreille musicale. La culture auditive, les intervalles et les acords*. Friburgo, Suiza: Pro Musica.

Yau, K.W. (1994). Phototransduction mechanism in retinal rods and cones. *Invest opthaalmol Vis Sci. The Friedenwald Lecture*, 35(1), 9-32.

Zhao, H., Xu, D., Zhang, S. y Zhang, J. (2011). Genomic and Genetic Evidence for the Loss of Umami Taste in Bats. *Genome Biology and Evolution*, 4(1), 73-79. DOI: 10.1093/gbe/evr126.

Para citar este artículo

García, J.J. (2020). Ciencia consentida: resignificando el papel de los sentidos en la enseñanza de las ciencias. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, (47), 217-231. <https://doi.org/10.17227/ted.num47-11337>